

METRO TÜNELLERİNDE, KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN TASMAN VE KONVERJANSA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF EFFECTS OF ROCK PROPERTIES ON SURFACE SETTLEMENT AND CONVERGENCE IN METRO TUNNELS

İbrahim OCAK

İ.Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., Misafir Öğr. Üyesi, 34320 Avcılar, İstanbul

ÖZ : Metro tüneli kazılarında, kazı sonrası tünel duvarlarında oluşan konverjans ve yeryüzünde oluşan ve yüzeyde bulunan yapılara hasar veren, hatta yıkılmalarına neden olan tasmanın, müsaade edilebilir değerler arasında tutulabilmesi çok önemlidir. Aksi halde, metro tüneli kendisinden beklenen vazifeleri yerine getiremeyeceği gibi metrodan beklenen kazanımlar da azalacaktır. Bu amaçla, kayaçların mekanik özelliklerini kullanarak tasman ve konverjansın önceden tahmin edilebilmesine yönelik olarak, İstanbul Metrosu 1. aşama kazıları üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışma sonucunda, konverjans ve tasmanı en iyi ifade eden kayaç özelliğinin çekme dayanımı ve basınç dayanımı/çekme dayanımı oranının olduğu saptanmış ve bu özellikler kullanılarak tasman ve konverjansın önceden tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Tasman, konverjans, metro tüneli, İstanbul Metrosu, kayaçların mekanik özellikleri.

ABSTRACT : In metro tunnel excavations, limitation of convergence that is occurred on tunnel walls and surface settlement that comes into being on the surface and causes damage to the structures on the earth surface (even that can fall those structures down) carries high importance. With deficiency in restraining those two values under acceptable limits, while metro tunnel could not perform its ordinary duties, benefits that metro could provide will also be likely to reduce. For this reason, by using the mechanical characters of rock specifications and for aiming at predicting convergence surface settlement previously, first phase of İstanbul Metro excavations is being analyzed. At the end of the study realized, it is determined that the best explanatory rock properties reflecting convergence and surface settlement values is tensile strength and compressive strength/tensile strength ratio and by using this properties it is concluded that convergence and surface settlement could be previously predicted.

Key Words: Surface settlement, convergence, metro tunnel, İstanbul Metro, mechanical rock properties.

GİRİŞ

Günümüzde, dünya nüfusu hızla artmaya devam etmekte ve bu artışa paralel olarak da plansız ve çarpık kentleşmeler meydana gelmektedir. Bundan dolayı da büyük şehirlerde; trafik, su, çevre kirliliği, plansız yapılaşma, alt yapı, sağlık ve eğitim gibi temel hizmetlerde önemli sorunlar yaşanmaktadır. Ancak yapılan bir ankete göre İstanbul'da bu sorunlar arasında ilk sırayı % 29'luk bir oranla trafik ve ulaşım sorunu almaktadır (İBB, 2004).

Metro tünelleri, özellikleri gereği yerleşimin en yoğun olduğu bölgelerde yer alırlar. Çünkü doğal olarak metro sistemleri, trafik probleminin en yoğun olduğu yerlerde trafiği rahatlatmak için inşa edilirler.

Başarılı bir tünelticilik, kazı ve tahkimatın başarısı yanında kazı sonrasında da konverjans ve tasmanın hem tünele hem de yüzeyde bulunan binalara zarar vermeyecek şekilde limit değerler arasında kalması ile mümkün olur. Bu parametreler, madencilikte açılan galerilerde, metro tünellerinde olduğu kadar hassas değildir. Çünkü madencilikte, tünel ayakta kaldığı ve vazifesini yapabildiği müddetçe konverjans ve tasmanın çok büyük bir önemi yoktur. Eğer yüzeyde bir yerleşim birimi yok ise müsaade edilebilecek tasman sınırları da geniş olacaktır. Ancak metro tünellerinde durum çok hassastır. Çünkü tüneller büyük ölçüde yerleşim birimlerinden ve daha da önemlisi binaların altından geçmektedir. Dolayısı ile tasman ve konverjans kontrol

altında tutulamaz ise bunun sonucu olumsuz gelişmelere sebep olabilir.

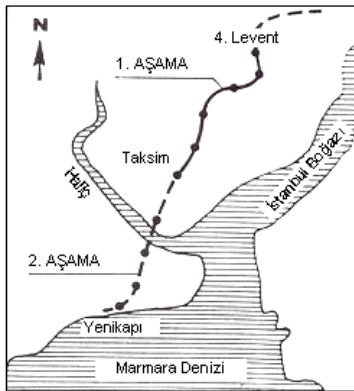
Böyle bir olumsuzluk İstanbul Metro 2. aşama kazıları sırasında yaşanmış ve yüzeyde oluşan aşırı tasman, önce binalarda küçük çatlaklara yol açmış ardından giderek büyüyen çatlaklar 23 Eylül 2001 günü Çınar Pansiyonunun tamamen yıkılmasına sebep olmuş ve bu olayda 2 kişi ölmüş 43 kişi yaralanmıştır (Ocak, İ., 2004). Bu olay, yazılı ve görsel basında günlerce işlenmiştir. Sonuç olarak, İstanbul Büyükşehir Belediyesi yıkılan bu binaları istimlak ederek yeraltında sürdürülmekte olan o bölgedeki kazıları aç kapa tünelleri şeklinde yapmak zorunda kalmıştır. Yıkılan dört binanın İstanbul Belediyesine maliyeti 17 trilyon TL olmuştur. Oysa metronun bir amacı da istimlak giderlerinden kurtulmak ve bölgede yer alan iş hayatını olumsuz etkilememek iken çok başarılı bir kazı yapılmış olsa bile tasman ve konverjansın belirli sınırlar içinde tutulmaması metro ile amaçlanan kazanımları da yok edebilmektedir.

Bu çalışmada, metro tünelleri kazılarında konverjans ve tasmanın, metro hazırlık çalışmalarında yapılan sondajlardan elde edilen kayaç özelliklerine dayanarak tahmin edilebilmesi amacıyla İstanbul Metro 1. aşama kazıları üzerinde çalışılmış ve istatistiksel bir tahmin modeli geliştirilmiştir.

ÇALIŞMA BÖLGESİNİN TANITIMI

Bu çalışma, İstanbul Metro 1. aşama 1. kısım kazılarının yapıldığı Şişli- 4. Levent arasındaki bölgeyi kapsamaktadır.

İstanbul Metro 4. Levent'ten başlayıp Yenikapı'ya kadar uzanacak olan, 4. Levent-Taksim arası kapsayan yaklaşık 8 kilometrelik 1. aşaması tamamlandı Eylül 2000 yılında hizmete açılan, Taksim-Yenikapı arası kapsayan ve dört adet istasyonu içeren yaklaşık 5,2 kilometrelik 2. aşama çalışmaları ise devam eden bir projedir (Şekil 1).



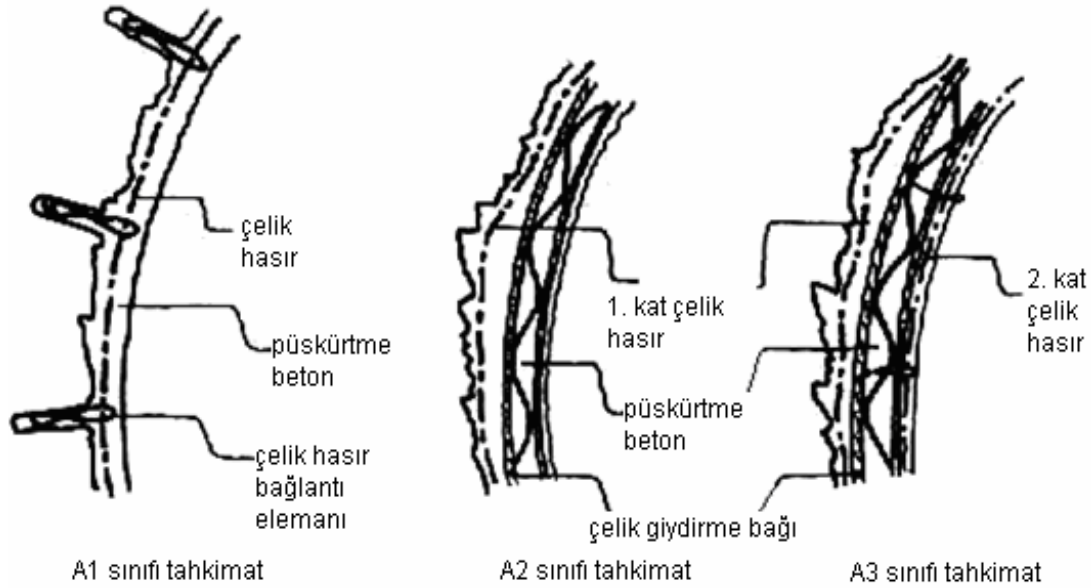
Şekil 1. İstanbul Metro Güzergâhı (Ayaydın, N, 1997).
Figure 1. Allignment of Istanbul Metro Line (Ayaydın, N, 197).

Bu çalışma için, metro ön çalışmaları sırasında

yapımcı firmalarca yapılan sondajlardan dolayı kayaç özellikleri bilinen noktalar seçilmiştir. Bu noktalarda, kazıyı gerçekleştiren firmalarca yapılan ve her bir nokta için 40 ile 130 arasında değişen sayıda konverjans ve tasman ölçüm raporları incelenmiş ve her bir model noktası için maksimum konverjans ve tasman değerleri tespit edilmiştir. Tespit edilen bu değerler ile kayaç özellikleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

İstanbul Metro 1. Aşama Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu ile açılmaktadır. Bu yöntemin en önemli ilkesi; kayanın mukavemetini korumak ve harekete geçirmek; tünel çevresindeki kayada kendini destekleyen genişçe bir halka oluşturmaktır. Bunun için birincil tahkimat zeminin kendisini desteklemesine yardımcı olması için oluşturulur. Bu görevini tatmin edici şekilde yerine getirmesi için, birincil tahkimatın, uygun bir yük deformasyon özelliğinin olması ve tam zamanında yerleştirilmesi gerekmektedir. İkinci önemli ilkesi, tüneldeki deformasyonların ve tahkimatta biriken gerilimlerin ölçülmesidir. Buradan elde edilen veriler yapımcıya yeni ufuklar edindirir. Diğer bir önemli özelliği ise her türlü tünel şartlarına uygun olmasıdır. Ayrıca aynı tünel içerisindeki değişik şartlar için büyük bir uygulama kolaylığına sahiptir (Sonuç, M, 1994).

Kazı biçimi değişik tünel tiplerinde farklılıklar göstermekle birlikte, metroda kazılan tünellerin %90'ını oluşturan A tipi ana hat tünellerinde önce 28 m²'lik üst yarı kazısı yapılmakta daha sonra 8 m²'lik alt yarı kazısı yapılmaktadır. İstanbul Metro 1. Aşama kazısı Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu ile ve 33 HP gücündeki hidrolik kırıcı kullanarak yapılmıştır (Bilgin, N, vd. 1996). Tünellerde 3 çeşit tahkimat kullanılmaktadır. A1 sınıfı tahkimat, boş alan ve yapılaşma olmayan bölgelerden geçen tünellerde yapılmaktadır. Burada 10-15 cm püskürtme beton ve tek sıra çelik hasır kullanılmaktadır. A2 sınıfı tahkimat, yolların altından geçen tünellerdir. Bu tipte 20 cm püskürtme beton, tek sıra çelik hasır ve 1-1,2 metre aralıklı çelik giydirme bağı kullanılmaktadır. A3 sınıfı tahkimat ise binaların altındaki tünellerde yapılmaktadır. Bu tahkimatta 20 cm püskürtme beton, çift sıra çelik hasır ve 0,5-1 metre aralıklı çelik giydirme bağı kullanılmaktadır (Şekil 2) (Sonuç, M, 1994). Çelik hasır ve çelik bağ yerleştirildikten sonra püskürtme beton uygulamasına geçilmekte ve bu işleme çelik hasır ve çelik giydirme bağlar tamamen kaplanıncaya kadar devam edilmektedir. 2 veya 3 gün sonra ise püskürtme beton yapılan yere tünelin özelliğine göre 4-8 adet kaya civatası şaşırtmalı olarak yerleştirilmektedir. Bu işlemden sonra da 40 cm kalınlığındaki BS 25 sınıfı kaplama betonu yapılmaktadır. Tüneller yüzeyden 20-40 metre derinlikte olup geliş-gidiş tünelleri arası yaklaşık 30-32 metredir (Yalçın, A, 1994).



Şekil 2. A Tipi Tünelde Kullanılan Tahkimat Çeşitleri (Sonuç, M, 1994).
Figure 2. Support Types Used in A Type Tunnels (Sonuç, M, 1994).

İstanbul Metrosu Taksim- 4. Levent güzergahı, genel olarak kumtaşı, kiltası, çamurtaşı ve siltaşı birimleri ile bunların ardalanmalarından oluşmaktadır (Ayaydın, N, 1997). Güzergah boyunca formasyon, 0,5-4 m kalınlıktaki dolgu altında ve ileri derecede ayrılmış durumda bulunmaktadır. Tabaka kalınlıkları değişken olmakla birlikte, genelde 5 cm ile 65-70 cm arasında değişmektedir (Eriş, İ, 2000). Kayaçların RQD değerleri % 0 ile % 90 arasında değişmektedir (Bilgin, N, 1994). Metro güzergahında yer altı su seviyesi, Taksim ve 4. Levent bölgeleri hariç, yüzeyden yaklaşık 10 metre aşağıdadır. Taksim

ve 4. Levent yörelerinde ise su seviyesi biraz daha düşüktür (Sonuç, M, 1994).

Çalışma bölgesindeki kayaçların bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; nokta yük direnci için yapılan 85 adet, tek eksenli basınç direnci için 26 adet, dolaylı çekme direnci için 65 adet, elastisite modülü için 63 adet, kohezyon için 28 adet deneyin ortalama sonuçları Tablo 1'de verilmiştir (Biberoğlu, S, 2000). Bu özelliklere göre metro güzergahındaki kayaçların genelde orta ve düşük dayanım sınıfında oldukları söylenebilir.

Tablo 1. Çalışma Bölgesinin Genel Kayaç Özellikleri (Biberoğlu, S, 2000)
Table 1. General Rock Properties of The Excavation Area (Biberoğlu, S, 2000)

Kayaç Türü	Nokta Yük Direnci (kg/cm ²)	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Endirekt Çekme Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	Kohezyon (kg/cm ²)
Ayrılmış Kumtaşı	75,5	292,7	43,9	102 966	49	50
Az ayrılmış Kumtaşı	87,2	901,3	49,2	232 712	48	120
Ayrılmış Çamurtaşı	16,8	155	36,1	89 500	-	-
Az ayrılmış Çamurtaşı	66,3	339	50,4	151 350	54	62

İstanbul Metrosunda Yapılan Konverjans ve Tasman Ölçümleri

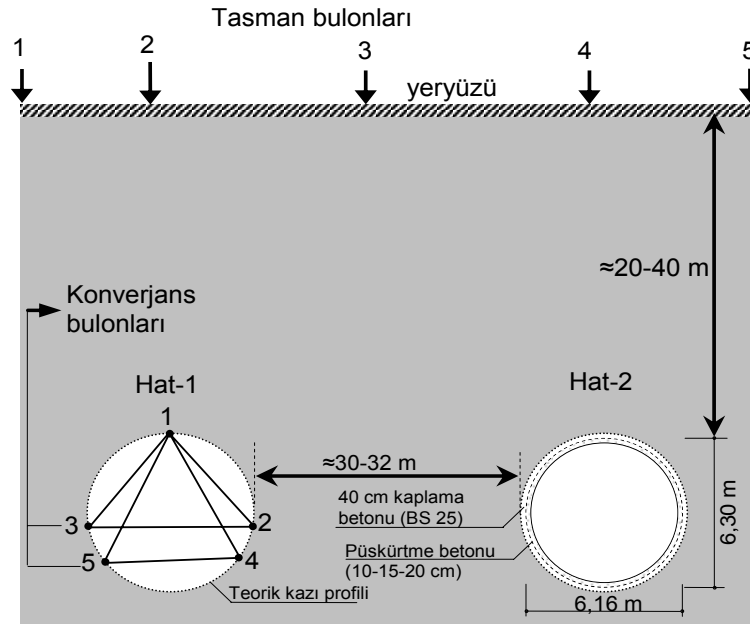
Çalışmaya esas olan bölgede, yapımcı firmalarca, yaklaşık her 29 metrede bir tasman ve konverjans ölçümü yapılmıştır (Ocak, İ, 2004).

Tasman okumalarında, tünel kazı aynası ölçüm yapılan noktaya gelmeden başlanan okumalara tünel kazı aynası ölçüm yapılan noktayı geçip tasman değerlerinin değişmeyen bir değere oturmasına kadar devam edilmiştir. Tasman ölçümleri, her iki tünel kesitindeki çökmeleri ölçecek şekilde yeryüzünde

genellikle beş ayrı noktada yapılmıştır (Biberoğlu, S, 2000) (Şekil 3). Konverjans ölçümleri Şekil 3'de tünel kesiti üzerinde gösterilen 5 adet noktaya yerleştirilen konverjans bulonlarından yapılmıştır.

KAYAÇ ÖZELİKLERİYLE KONVERJANS VE TASMAN ARASINDAKİ İLİŞKİ

Kayaç mekanik özellikleriyle konverjans ve tasman arasındaki ilişki Tablo 2'de verilen değerlere göre araştırılmıştır.



Şekil 3. Konverjans ve Tasman Ölçüm Noktaları.

Figure 3. Convergence and Surface Settlement Measurement Points.

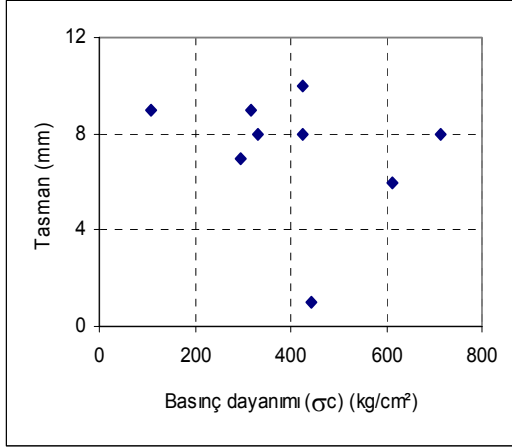
Tablo 2. Çalışılan Noktalara Ait Kayaç Özellikleri ile Konverjans ve Tasman Değerleri (İTÜ, 1993a, İTÜ, 1993b, Biberoğlu, S, 2000, Eriş, İ, 2000, Geoteknik, 1993)

Table 2. Rock Properties and Values of Convergence and Surface Settlements of the Points Studied (İTÜ, 1993a, İTÜ, 1993b, Biberoğlu, S, 2000, Eriş, İ, 2000, Geoteknik, 1993)

Sondaj No	Tahkimat Tipi	Ortalama Basınc Dayanımı, (σ_c) (kg/cm ²)	Ortalama Çekme Dayanımı, (σ_t) (kg/cm ²)	Basınc/Çekme Dayanımı Oranı (σ_c/σ_t)	Maksimum Tasman (mm)	Maksimum Konverjans (mm)
KS 01-08	A3	316	48	6,58	9	15,70
KS 01-07	A3	331	50	6,62	8	20,93
KS-01-06	A2	713	68	10,48	8	15,20
ME-52	A3	442	30	14,73	1	58,43
ME-53	A3	425	-	-	8	10,22
ME-56	A3	109	-	-	9	19,47
Gayrettepe 1	A2	295	44	6,70	7	12,61
ME-57	A2	425	-	-	10	7,05
ME-60	A3	612	50	12,24	6	10,91

Basınç Dayanımıyla Konverjans ve Tasman Arasındaki İlişki

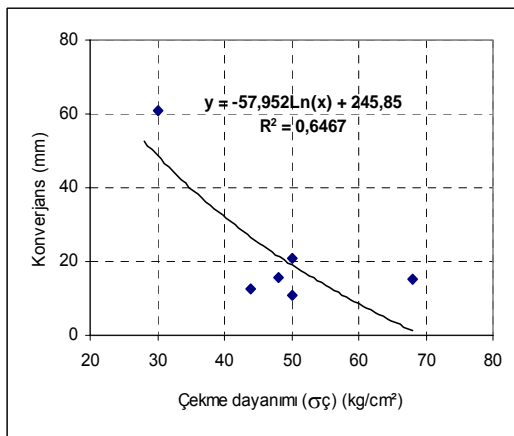
Kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ile tasman ve konverjans arasındaki ilişki istatistiksel olarak $\alpha=0,05$ güven seviyesinde anlamlı değildir. Dolayısı ile, basınç dayanımı ile tasman ve konverjans arasında, tasman ve konverjans tahmininde kullanılabilecek kuvvette bir ilişki yoktur (Şekil 4).



Şekil 4. Basınç Dayanımı ve Tasman Arasındaki İlişki.
Figure 4. Relationship Between Compressive Strength and Surface Settlement.

Çekme Dayanımı ile Konverjans ve Tasman Arasındaki İlişki

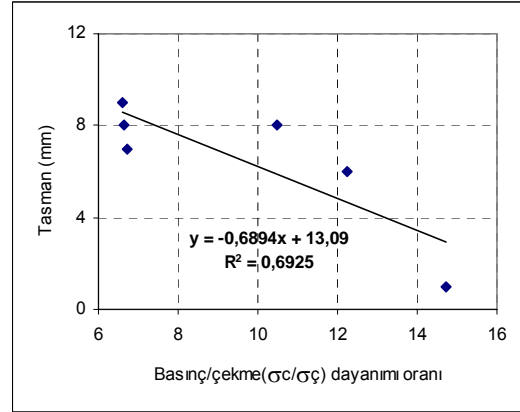
Çekme dayanımı ile tasman arasında anlamlı olabilecek bir ilişki bulunamamıştır. Ancak çekme dayanımı ile konverjans arasında Şekil 5'te gösterilen ve belirlilik katsayısı $R^2=0,6467$ olan bir ilişki söz konusudur.



Şekil 5. Çekme Dayanımı ile Konverjans Arasındaki İlişki.
Figure 5. Relationship Between Tensile Strength and Convergence.

Basınç Dayanımı/Çekme Dayanımı Oranı ile Konverjans ve Tasman Arasındaki İlişki

Basınç dayanımı/çekme dayanımı oranı ile tasman arasında $R^2=0,6906$ belirlilik katsayısı oranında bir ilişki vardır (Şekil 6). Basınç dayanımı/çekme dayanımı oranı ile konverjans arasında ise anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.



Şekil 6. Basınç Dayanımı/Çekme Dayanımı Oranı ile Tasman Arasındaki İlişki.

Figure 6. Relationship Between Compressive Strength / Tensile Strength Ratio and Surface Settlement.

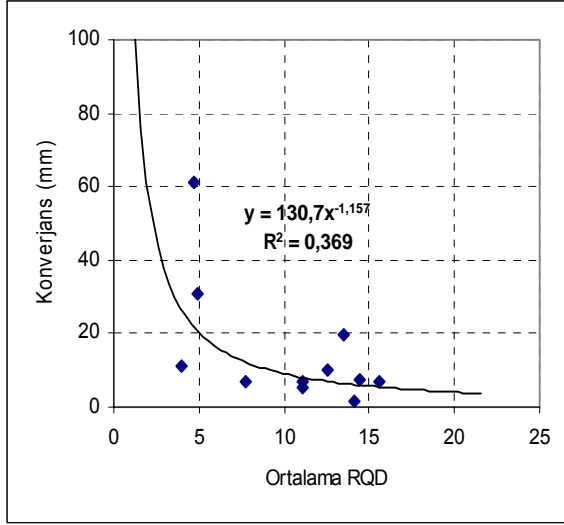
RQD ile Konverjans ve Tasman Arasındaki İlişki

Metro güzergâhında kazıdan önce yapılan sondajların ortalama RQD değerleri ve bu sondaj noktalarına karşılık gelen ve ilgili firmalarca tutulmuş tasman ve konverjans ölçüm raporlarından elde edilen tasman ve konverjans değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tabloda verilen bu değerlere göre; RQD ile konverjans ve tasman arasındaki ilişki araştırılmış ve RQD ile tasman arasında anlamlı bir ilişkiye rastlanmazken RQD ile konverjans arasında zayıf bir ilişkinin olduğu saptanmıştır (Şekil 7).

Tablo 3. Ortalama RQD, Tasman ve Konverjans Değerleri (Biberoğlu, S, 2000, Giray, Ç, 1995).

Table 3. Average RQD Values, Surface Settlement and Convergence (Biberoğlu, S, 2000, Giray, Ç, 1995)

Sondaj No	Ortalama RQD (%)	Tasman (mm)	Konverjans (mm)
ME-51	4,90	8	13,42
ME-52	4,74	1	58,43
ME-53	12,50	8	10,22
ME-56	13,50	9	19,47
ME-57	7,79	10	7,05
ME-58	15,54	12	6,95
ME-59	14,42	11	7,34
ME-60	3,93	6	10,91
ME-62	11,05	8	5,42
ME-65	11,12	-	6,96
ME-66	14,07	-	1,57



Şekil 7. Ortalama RQD ve Konverjans Arasındaki İlişki.
Figure 7. Relationship Between Average RQD and Convergence.

Konverjans ve Tasman Tahmini

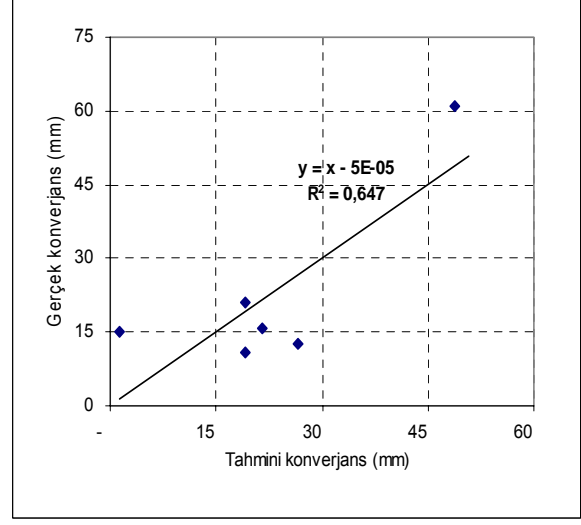
Kayaç mekanik özellikleri ile tasman ve konverjans arasında araştırılan bu ilişkiler içerisinde en anlamlıları ile konverjans ve tasman tahmininde bulunulmuştur.

Şekil 5'te verilen konverjans ile çekme dayanımı arasındaki ilişkiye dayanılarak konverjans tahmininde bulunulmuştur. Gerçek ve tahmin edilen konverjans değerleri Tablo 4'te ve gerçek ve tahmini konverjans arasındaki ilişkinin grafiği ise Şekil 8'de verilmiştir. Gerçek ve tahmini konverjans arasındaki ilişkinin belirlilik katsayısı $R^2=0,647$ dir.

Tablo 4. Çekme Dayanımına Dayanarak Tahmin Edilen ve Ölçülen Konverjans Değerlerinin Karşılaştırılması

Table 4. Comparasion of Measured and Predicted Convergence Based on Tensile Strength.

Sondaj No	Ortalama Çekme (σ_t) Dayanımı (kg/cm^2)	Tahmini Konverjans (mm)	Ölçülen Konverjans (mm)
KS 01-08	48	21,51	15,7
KS 01-07	50	19,14	20,93
KS-01-06	68	1,32	15,2
ME-52	30	48,74	58,43
Gayrettepe 1	44	26,55	12,61
ME-60	50	19,14	10,91



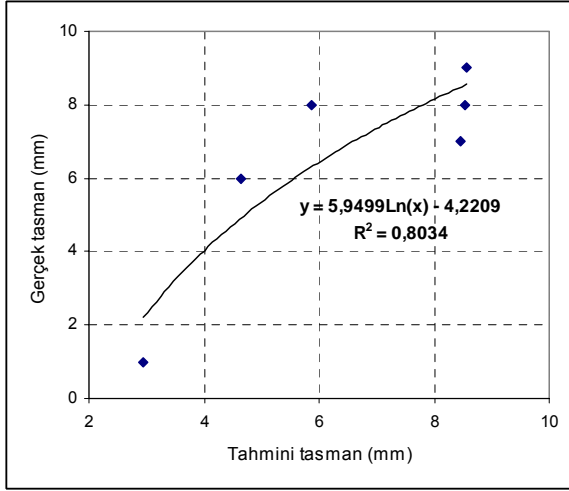
Şekil 8. Ölçülen ve Tahmini Konverjans Arasındaki İlişki.
Figure 8. Relationship Between Measured and Estimated Convergence Values.

Şekil 6'da verilen basınç dayanımı/çekme dayanımı oranı ile tasman arasındaki ilişkiye dayanarak tasman tahmininde bulunulmuştur. Gerçek ve tahmin edilen tasman değerleri Tablo 5'te ve tahmini tasman ile gerçek tasman arasındaki ilişkinin grafiği Şekil 9'da verilmiştir. Tahmin edilen tasman ile gerçek tasman arasındaki ilişkinin belirlilik katsayısı $R^2=0,8034$ 'dir.

Tablo 5. Basınç/Çekme Dayanımı Oranına Dayanarak Konverjansın Tahmini.

Table 5. Estimated Surface Settlements Based on Compressive Strength/Tensile Strength Ratio.

Sondaj No	Basınç/çekme (σ_c/σ_t) oranı	Tahmini Tasman (mm)	Ölçülen Tasman (mm)
KS 01-08	6,58	8,55	9
KS 01-07	6,62	8,53	8
KS-01-06	10,48	5,87	8
ME-52	14,73	2,94	1
Gayrettepe 1	6,7	8,47	7
ME-60	12,24	4,65	6



Şekil 9. Ölçülen ve Tahmini Tasman Arasındaki İlişki.
Figure 9. Relationship Between Measured and Estimated Surface Settlement values.

SONUÇLAR

Bir metro projesinin başarısı, projenin zamanında, en düşük maliyetle, tünele ve çevre binalara en az zarar verilerek bitirilmesiyle ölçülür. Bunların gerçekleşmesi için başarılı bir kazı çalışmasının yanında iyi bir konverjans ve tasman kontrolü de gerekmektedir. Çünkü, konverjans ve tasmanın sınır değerleri aşması durumunda bunların kontrolü için hem zaman hem de para kaybı söz konusu olacaktır.

Bu çalışmada, İstanbul Metrosu için kayaçların mekanik özelliklerine bağlı olarak tasman ve konverjansın önceden kestirimine yönelik olarak istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. İstanbul Metrosu 1. Aşama kazıları üzerinde çalışılmış ve gerek konverjansın gerekse tasmanın, proje aşamasında, tünelin geçeceği zemini tanımak amacıyla yapılan sondajlardan elde edilen kayaç özelliklerinden ve metro kazıları sırasında yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen çekme dayanımı, basınç dayanımı/çekme dayanımı oranı ve RQD değerlerinin kullanılması suretiyle yaklaşık olarak önceden kestirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, konverjansı en iyi açıklayan kayaç özelliğinin çekme dayanımı, tasmanı en iyi ifade eden kayaç özelliğinin ise basınç dayanımı/çekme dayanımı oranının olduğu görülmüştür.

Tüm metro kazılarında, benzer kayaçların, benzer çalışmalarda, benzer davranışlarda bulunacağı düşünülürse, bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan, çalışmaları devam eden İstanbul Metrosu 2. Aşama kazıları sırasında ve bundan sonra yapılacak diğer metro kazılarında tasman ve konverjans tahmininde kullanılması fikir verici olacaktır.

SUMMARY

In this study, a statistical work has been realized for the estimation of surface settlements and convergence before excavation in metro tunnel. For this reason, by using the mechanical properties of rocks and for aiming at predicting convergence previously, the first phase of İstanbul Metro excavations is being analyzed. At the end of the study realized, it is determined that the best explanatory rock properties reflecting convergence and surface settlement values is tensile strength and compressive strength/tensile strength ratio and by using this properties it is concluded that convergence and surface settlement could be previously predicted.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Ayaydın, N., 1997,** Metro İstanbul, Tunnel for People, 561-567, Rotterdam.
- Biberoğlu, S., 2000,** Kişisel görüşme ve yayımlanmamış notlar, Tefken İnşaat ve Tesisat A.Ş. kontrol mühendisi, İstanbul.
- Bilgin, N., 1994,** Yeraltı Kazılarında Mekanizasyon, Ulaşımında Yeraltı Kazıları 1. Sempozyumu, İstanbul, 53-98.
- Bilgin, N., Yazıcı, S., Eskikaya, Ş., 1996,** A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages, Eurorock, Rotterdam, 715-720.
- Eriş, İ., 2000,** Yayınlanmamış notlar ve kişisel görüşme, İTÜ, İstanbul
- Giray, Ç., 1995,** İstanbul Metrosu 1. aşama inşaatı Taksim- Osmanbey hattı üzerinde uygulanan sağlamlaştırma yöntemleri ve konverjansın irdelenmesi, İTÜ Maden Fakültesi, Bitirme Ödevi, 33-34.
- Geoteknik Etüd Müşavirlik ve Mühendislik, 1993,** İstanbul Metrosu Birinci Aşama Birinci Kısım İnşaatı Sondajları Raporu, İstanbul
- İBB, 2004,** Ulaşım Master Raporu, [http:// www. ibb.gov.tr/ibbtr/ 140/ 14005 /1400501/ ulasim_raporu.htm](http://www.ibb.gov.tr/ibbtr/140/14005/1400501/ulasim_raporu.htm)
- İTÜ Maden Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, 1993a,** İstanbul Metrosu Mecidiyeköy- 4. Levent kesimindeki sondajlara ait mekanik deney raporu, İstanbul
- İTÜ Maden Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, 1993b,** İstanbul Metrosu Taksim- 4. Levent güzergâhında yapılan Gayrettepe ve Levent sondajlarına ait laboratuvar deney raporu, İstanbul
- Ocak, İ., 2004,** Metro tüneli kazılarında, kazı hızı, tasman ve konverjansa kayaç özelliklerinin etkisi üzerine istatistiksel bir yaklaşım, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 126.

- Sonuç, M., Giray, K., Atik, İ., Küçük, S., 1994,** İstanbul Metrosunda uygulanan yapım çalışmaları, Ulaşımında Yeraltı Kazıları 1. Sempozyumu, İstanbul, 93-108.
- Yalçın, A., 1994,** İstanbul Metrosu yapımında 1992-1993 dönemi çalışmaları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul, 100.

Yayına Geliş - Received : 16.09.2004

Yayına Kabul - Accepted : 31.03.2005